

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ЭФФЕКТА МНОГОЛЕТНЕГО ПОТЕПЛЕНИЯ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УЛОВОВ ШПРОТА В РОССИЙСКИХ ВОДАХ ЧЕРНОГО МОРЯ (1951–2019 гг.)

М.М. Пятинский, Д.О. Кривогуз, В.А. Шляхов, Р.В. Боровская

Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), г. Ростов-на-Дону
pyatinskiy_m_m@azniirkh.ru, krivoguz_d_o@azniirkh.ru, borovskaya_r_v@azniirkh.ru, shlyahov_v_a@azniirkh.ru

Аннотация. Выполнено предварительное исследование влияния температурного фактора на качественные характеристики уловов Черноморского шпрота в водах России за период 1951–2019 гг. В исследовании выполнена проверка статистической гипотезы о наличии связи между индикаторным фактором динамики температуры поверхности воды вблизи населенных пунктов Черноморское, Ялта, Феодосия и многолетними данными о средней навеске шпрота в промысловых уловах в этих же районах (температура поверхностная, а шпрот на поверхности не ловится). Проверка статистической гипотезы о наличии линейной связи выполнена при помощи корреляционного теста (Пирсона). Результаты предварительного кросс-корреляционного теста указали на наличие умеренной связи между температурным фактором и средней навеской шпрота ($r = -0,60$). После предварительного теста данные были сглажены методом полиномиальной регрессии для устранения влияния межгодовой изменчивости, по сглаженным данным был выполнен пересчет значений коэффициентов корреляции при помощи кросс-корреляционного теста. Корреляционный тест по сглаженным данным показал высокую отрицательную степень связи ($r = -0,75$) между средней температурой поверхности воды во всех индикаторных точках и средней навеской шпрота по всем возрастным классам и очень высокую степень связи между температурным фактором и старшими возрастными классами ($r = -0,86$). Выполненное исследование позволило подчеркнуть преобладающую роль температурного фактора и эффекта потепления на ухудшение качественных характеристик промысловых уловов Черноморского шпрота. Эффект глобального потепления начиная с 1990-х гг. внес существенный негативный вклад в условия существования шпрота в Черном море.

Ключевые слова: шпрот, Черное море, температура, потепление, промысел.

Введение

Черноморский шпрот *Sprattus sprattus phalericus* (Risso) является мелкой холоднолюбивой пелагической рыбой, не совершающей значительных горизонтальных пространственных миграций, распределяющейся на глубинах от 10 до 100 м [1]. Промысел шпрота был начат в конце 1970-х гг. и в некоторые годы во всем бассейне Черного моря достигал величин более 100 тыс. т.

Результаты многих исследований [2; 3] указывают на существенное влияние температурного фактора на поведение и пространственное распределение шпрота в Черном море. Другие исследования [4] свидетельствуют о наличии связи между параметрами популяции (рост) и температурой. Комплексные экосистемные работы [5; 6] также свидетельствуют о важной роли температурного фактора в формировании нерестового стада и численности его пополнения.

Последние популяционные работы по черноморскому шпроту в водах России [7] показывают существенное сокращение нерестовой биомассы запаса в период 2017–2019 гг., которое, вероятно, связано с флуктуациями численности пополнения и миграциями хищной пелагиды [8].

Основной целью данной работы является выявление наличия (или отсутствия) связи между много-

летним температурным фактором и качественными характеристиками промысловой популяции шпрота в Черном море.

Материал и методика

Данные о среднегодовой температуре поверхности воды на морских гидрометеорологических станциях Феодосии, Ялты, Черноморского за период 1951–1991 гг. были получены из работы [9]. Для периода 1992–2019 гг. данные о температуре поверхности воды в этих точках были получены по опубликованным данным проекта Коперник [10]. Средняя навеска шпрота для периода 1951–1991 гг. вычислена по данным промысловых уловов вблизи точек мониторинга температуры: по возрастным классам 1+, 2+, 3+ и средняя для всего улова. Визуализация района исследований представлена на рисунке 1.

Предварительная диагностика данных температуры поверхности воды и навесок шпрота выполнена при помощи теста аномалий – абсолютные отклонения от среднего значения ряда. После предварительной диагностики выполнялся кросс-корреляционный тест (линейный коэффициент корреляции Пирсона) [11] и тест значимости связи (p-test).

После выполнения предварительной диагностики многолетние данные были сглажены методом

полиномиальной регрессии с коэффициентом сглаживания $\text{span} = 0,5$ [12]. К сглаженным данным, аналогично сырым данным, был применен кросс-корреляционный тест для определения наличия и значимости связи.

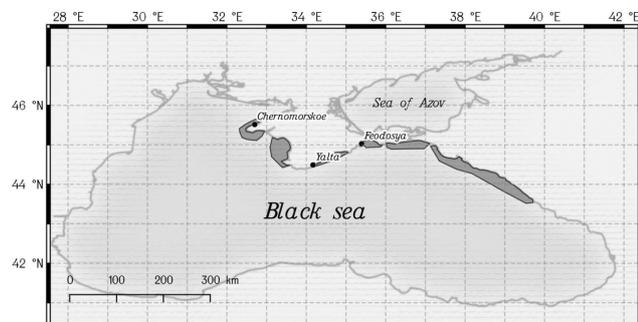


Рис. 1. Район исследований – станции мониторинга температуры поверхности воды (точки) и области сбора биологических данных (серые области)

В работе используются условные обозначения:
– sst_* (sst_{feo} , $\text{sst}_{\text{yalta}}$, sst_{cher} , sst_{avg}) – средняя температура поверхности воды (соответственно станции мониторинга вблизи г. Феодосия, Ялта, Черноморское) и среднее по всем индикаторным точкам;

– w^* (w_1 , w_2 , w_3 , w_{avg}) – средняя навеска в промысловых уловах шпрота по возрастным классам (w_1 – в возрасте 1+, w_2 – в возрасте 2+, w_3 – в возрасте 3+) и в общем без учета возрастов (w_{avg}).

Результаты

Результаты предварительной диагностики аномалий представлены на рисунке 2.

Результаты предварительного кросс-корреляционного теста по необработанным данным указывают на наличие умеренной степени связи между средними навесками шпрота в возрасте 2+, 3+ и температурой поверхности воды в акваториях на станциях мониторинга вблизи г. Ялта и Феодосия $r = [-0,59; -0,67]$, связь значима на уровне биологических исследований ($\alpha = 0,05$). Связь между температурным фактором в различных точках мониторинга и промысловыми навесками шпрота в возрасте 1+ оказалась очень слабой $r = [-0,39; -0,40]$, а связь между температурным фактором вблизи г. Черноморское и средними навесками шпрота имела крайне слабую степень выраженности $r = [-0,29; -0,5]$, тем не менее была значима на биологическом уровне значимости исследований.

Исходные данные были сглажены методом полиномиальной регрессии ($R^2_{\text{sst}_{\text{avg}}} = 0,77$, $R^2_{w_{\text{avg}}} = 0,89$).

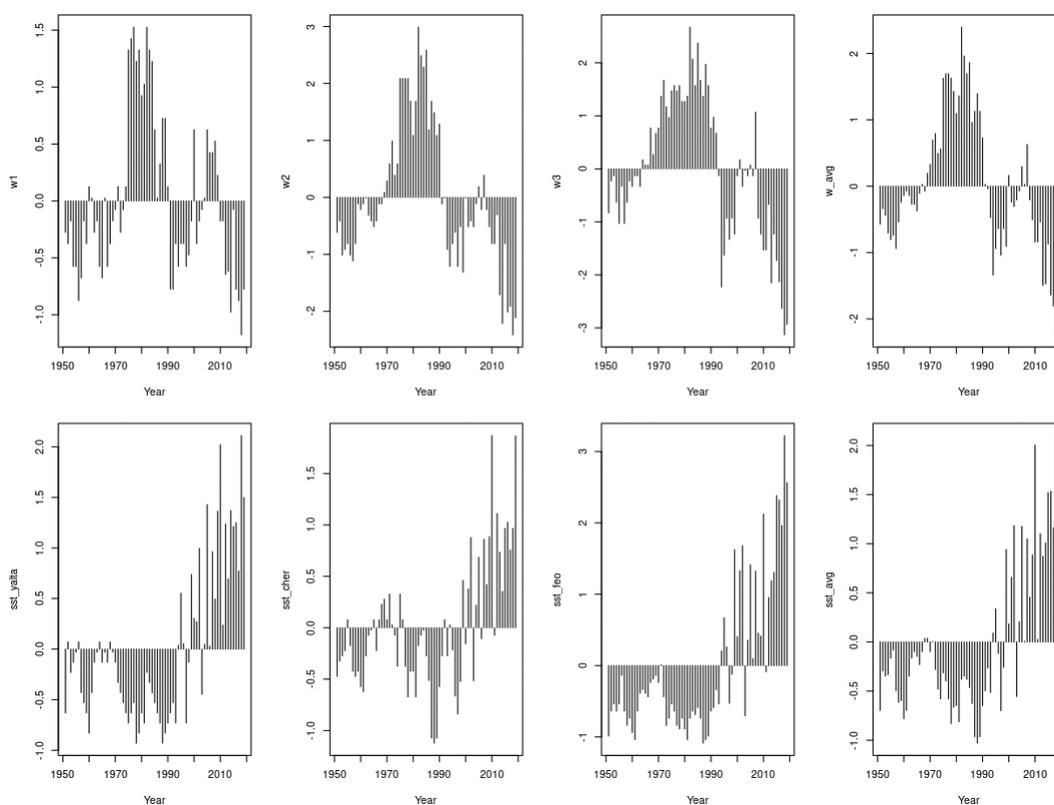


Рис. 2. Визуализация диагностики аномалий. Верхняя строка – средние навески по возрастам (w_1 – в возрасте 1+, w_2 – в возрасте 2+, w_3 – в возрасте 3+, w_{avg} – средняя по всем возрастам), нижняя строка – температура поверхности воды на станциях мониторинга ($\text{sst}_{\text{yalta}}$ – вблизи Ялты, sst_{feo} – Феодосии, sst_{cher} – Черноморского, sst_{avg} – средняя по всем станциям)

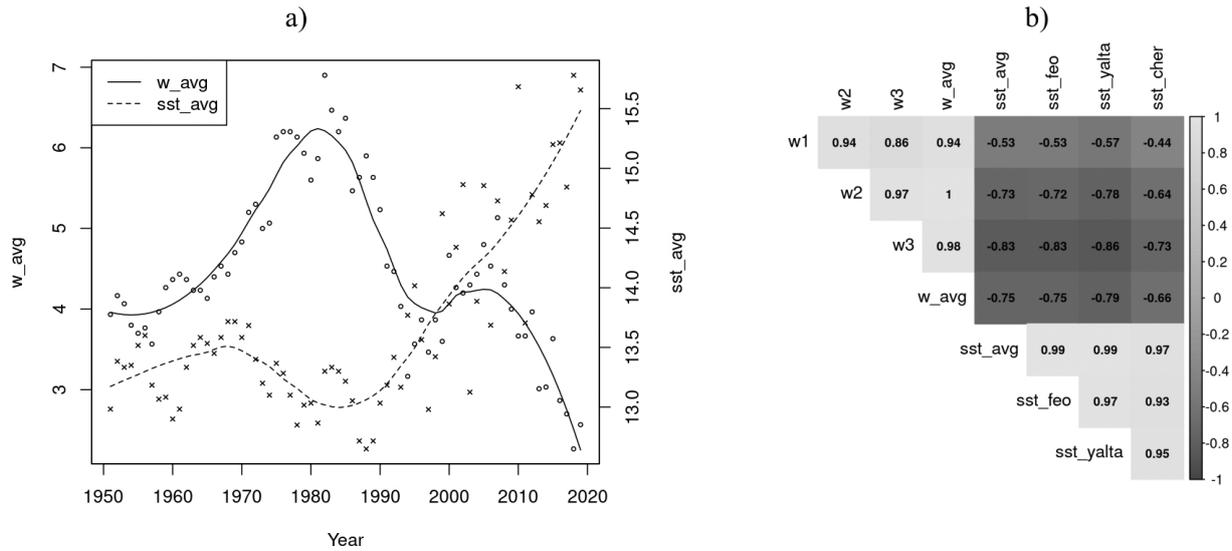


Рис. 3. Сглаженные методом полиномиальной регрессии многолетние данные среднегодовых температур в п. Ялта, Феодосия, Черноморское (sst_avg) и сглаженные ряды среднемноголетних навесок шпрота с промысла по всем возрастным классам (w_avg) (a); кросс-корреляционный тест (Пирсона) по сглаженным данным (закрашенные цветом ячейки – связь значима на уровне значимости $\alpha = 0,05$, значения в ячейках – величина коэффициента корреляции Пирсона, r) (b)

Результаты сглаживания данных (среднегодовой температуры в трех точках мониторинга и средней навески шпрота по всем возрастным классам) и повторный кросс-корреляционный тест по сглаженным данным представлены на рисунке 3.

Обсуждение результатов

Полученные предварительные результаты работы подтверждают наличие линейной связи между многолетним температурным фактором и средней промысловой навеской шпрота. Диагностика аномалий (рис. 2) визуально явно указывает на наличие обратной связи между температурным фактором и навесками шпрота в промысловых уловах. Аналитический корреляционный тест по необработанным входным данным отчасти подтверждает эту визуальную зависимость.

Сглаживание многолетних данных методом полиномиальной регрессии (рис. 3a) позволило получить более отчетливое представление о природе этой связи. Кросс-корреляционный тест по сглаженным данным (рис. 3b) подтверждает наличие умеренной связи между факторами среднемноголетней температуры во всех точках мониторинга и промысловыми навесками возрастной группы 1+, $r = [-0,44; -0,57]$ (связь значима при $\alpha = 0,05$). Связь между температурным фактором и старшими возрастными классами 2+, 3+ имела высокую степень выраженности, $r = [-0,64; -0,83]$. Связь между средней навеской по всем возрастным классам (w_avg) и среднегодовой температурой поверхности воды во всех портах

(sst_avg) по сглаженным данным является умеренной, $r = 0,75$. Сглаживание многолетних наблюдений позволило устранить влияние межгодовых колебаний и фактора локальной межгодовой неопределенности и позволило четко определить прямой вклад температурного фактора в качественные характеристики популяции шпрота и его промысловые характеристики.

Более детальное изучение связей между температурным фактором и навесками шпрота (рис. 3b), указывает на менее очевидный вывод – отрицательное влияние температурного фактора нарастает для старших возрастных классов шпрота. Такое влияние температурного фактора, вероятно, может быть объяснено более высокой пластичностью молодых особей при конкуренции в питании, что косвенно подтверждается исследованиями трофических цепей шпрота [13; 14].

Очевидно, что температурный фактор является не единственным фактором пелагической экосистемы, оказывающим влияние на популяцию черноморского шпрота. Экосистемные исследования других авторов [6; 15] демонстрируют сложность выявления первопричин и последовательностей изменений в исследованиях состояния популяции шпрота, однако все они демонстрируют высокий вклад температурного фактора в пелагическую экосистему Черного моря. Предыдущие работы авторов данной статьи также указывают на главенствующую роль температурного фактора при формировании промысловых скоплений шпрота [15–17]. Исследования поведения шпрота

в других бассейнах также указывают на важность температурного фактора [18].

Отдельного внимания заслуживает многолетняя динамика изменений средней температуры поверхности воды в точках мониторинга и промысловых навесок шпрота (рис. 3а). В период 1950–1990 гг. отмечается незначительный тренд как на повышение среднемноголетних температур, так и на их снижение, однако в период после 1990 г. наблюдается устойчивый тренд к ежегодному приросту. Такое стремительное потепление после 1990 г., очевидно, негативно сказывается на состоянии популяции шпрота в Черном море, что подтверждают результаты популяционного моделирования [7].

Заключение

Результаты данной работы, основанной на многолетних данных, подтверждают (на уровне значимости биологических исследований, $\alpha = 0,05$) наличие обратной связи между температурными изменениями в Черном море и качественными характеристиками популяции шпрота.

Результаты работы указывают на то, что старшие возрастные классы шпрота (2+, 3+) в большей степени подвержены негативному влиянию изменчивости температурного фактора.

Период стремительного потепления, начавшийся с 1990 г., негативно повлиял на качественные (и, вероятно, количественные) характеристики популяции шпрота в Черном море.

Список литературы

1. Асланова Н.Е. Шпрот Черного моря // Труды ВНИРО. 1954. Т. 28. С. 75–101.
2. Шер В.В. Связь распределения черноморского шпрота с абиотическими факторами // Рыбное хозяйство. 1979. № 11. С. 25.
3. Фащук Д.Я. Образование промысловых скоплений шпрота под влиянием условий среды // Рыбное хозяйство. 1987. № 6. С. 37–40.
4. Avsar D. Population parameters of sprat (*Sprattus sprattus phalericus* RISSO) from the Turkish Black Sea coast // Fisheries research. 1995. Vol. 21. Iss. 3–4. P. 437–453.
5. Daskalov G. Relating fish recruitment to stock biomass and physical environment in the Black Sea using generalized additive models // Fisheries Research. 1999. Vol. 41. Iss. 1. P. 1–23.
6. Daskalov G.M. et al. Architecture of collapse: regime shift and recovery in an hierarchically structured marine ecosystem // Global change biology. 2017. Vol. 23. Iss. 4. P. 1486–1498. DOI: 10.1111/gcb.13508
7. Пятинский М.М., Шляхов В.А., Шляхова О.В. Динамика запасов шпрота в Черном море и перспективы его освоения // Вопросы рыболовства. 2020. Т. 21. № 4. DOI: 10.36038/0234-2774-2020-21-4-396-410
8. Зуссер С.Г. Биология и промысел пелагиды в Черном море // Труды ВНИРО, 1954. Т. 28. С. 160–174.
9. Ильин Ю.П., Репетин Л.Н., Белокопытов Ю.Н. и др. Гидрометеорологические условия морей Украины. Т. 2: Черное море // Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2012.
10. Le Traon P.Y. et al. From observation to information and users: the Copernicus Marine Service perspective // Frontiers in Marine Science. 2019. Vol. 6. P. 234. DOI: 10.3389/fmars.2019.00234
11. Pearson K. *Early Statistical Papers*. Cambridge, England: University Press, 1948.
12. Cleveland W.S., Grosse E. Computational methods for local regression. *Stat Comput.* 1, 47–62 (1991). DOI: 10.1007/BF01890836
13. Шульман Г.Е., Никольский В.Н., Юнева Т.В., Щепкина А.М., Бат Л., Кидейш А.Е. Воздействие глобальных климатических и региональных факторов на мелких пелагических рыб Черного моря // Морской экологический журнал. 2007. Т. 6. № 4. С. 18–30.
14. Trophic relationships and food supply of heterotrophic animals in the pelagic ecosystem of the Black Sea. Chapter: 5. Food supply of the Black Sea small pelagic fish / eds: G. Shulman, B. Ozturk, E. Kideys, G. Finenko, L. Bat. Istanbul: Black Sea Commission Publications, 2009. P. 227–245. URL: https://www.researchgate.net/publication/280727789_Interannual_changes_of_lipid_content_in_the_Black_Sea_sprat
15. Шляхов В.А., Шляхова О.В. Динамика структуры траловых уловов шпрота на Украинском шельфе Черного моря и воздействие на нее природных факторов и рыболовства // Труды ЮгНИРО. 2011. Т. 49. № 4. С. 12–33.
16. Боровская Р.В., Шляхов В.А. Влияние апвеллингов на производительность тралового промысла шпрота в водах Украины // Системы контроля окружающей среды: сб. науч. тр. МГИ НАН Украины. 2010. С. 78–83.
17. Панов Б.Н., Спиридонова Е.О., Пятинский М.М., Стыцук Д.Р. О роли температурного фактора в поведении и эффективности промысла Черноморского шпрота // Водные биоресурсы и среда обитания. 2020. Т. 3. № 1. С. 106–113.
18. MacKenzie B.R., Köster F.W. Fish production and climate: sprat in the Baltic Sea // *Ecology*. 2004. Vol. 85. Iss. 3. P. 784–794. DOI: 10.1890/02-0780